



Le rôle des remplissages détritiques progradants

dans la morphologie des galeries et leurs profils en long

Jean-Yves BIGOT

21 rue des Hospices, F-34090 Montpellier

RÉSUMÉ : De nombreux auteurs ont souligné le rôle prépondérant des remplissages dans la morphologie de certaines galeries. Philippe Renault [1967-68] avait proposé un creusement original ascendant appelé paragenèse. Les galeries dites paragénétiques, dues à la sédimentation continue et à la lenteur des écoulements, évoluent par un creusement remontant. Ce creusement ascendant n'a lieu que dans un contexte entièrement noyé. Cependant, des sections de conduits similaires peuvent également se développer dans un contexte vadose, notamment par des encoches latérales. Les remplissages des galeries tendent à limiter la corrosion au sol et exposer les parois latérales baignées par l'eau. L'influence des remplissages n'est pas seulement visible dans les sections des galeries, les profils en long des galeries attestent d'un front progradant des sédiments progressant de l'amont (pertes) vers l'aval. Ce front progradant d'alluvions engendre une corrosion qui tend à araser les voûtes des galeries. Les remplissages protègent le sol et contraignent les eaux à exercer la corrosion au toit des galeries. Le résultat est la régularisation d'un profil qui tend à devenir horizontal. La dynamique d'un front progradant d'alluvions est très similaire à celle observée dans les *Gilbert Deltas* qui présentent des figures sédimentaires

comme les couches sommitales (*topset*), frontales (*foreset*) et basales (*bottomset beds*). Les *Gilbert Deltas* ont été décrits dans le lac Bonneville aux États-Unis, mais ailleurs d'autres personnes ont également étudié les lois présidant à la formation des dépôts lacustres. Les dynamiques de comblement des *Gilbert Deltas* ne se limitent pas seulement aux grands lacs ; ils peuvent se décliner sous terre où des remplissages progradants orientent la corrosion vers le haut et tendent à régulariser les profils en long des galeries.

MOTS-CLÉS : spéléogénèse, remplissages, *Gilbert Delta*, front progradant, profil en long de galerie, paragenèse.

ABSTRACT: THE ROLE OF PROGRADATIONAL DETRITAL FILL IN THE MORPHOLOGY OF GALLERIES AND THEIR LONGITUDINAL PROFILES. Many authors have emphasized the crucial role of infilling in the morphology of certain galleries. Philippe Renault [1967-68] proposed an original type of erosion called paragenetic. These so-called paragenetic galleries, resulting from continuous sedimentation and slow flow, evolve through upward erosion. This upward erosion only occurs in a completely submerged environment. Nevertheless, similar conduit sections can also develop in a vadose

environment, notably through lateral notches. The infilling of the galleries tends to limit corrosion at ground level and expose the lateral walls bathed by the water. The influence of the infilling is not only visible in the cross-sections of the galleries; the longitudinal profiles of the galleries also demonstrate a prograding front of sediments progressing from upstream (sinkholes) to downstream. This prograding front of alluvium generates a corrosion that tends to erode the gallery roofs. The infillings protect the soil and force the water to corrode the gallery roofs. The result is the regularization of a profile that tends to become horizontal. The dynamics of a prograding alluvial front are very similar to those observed in the *Gilbert deltas*, which exhibit sedimentary structures such as topset, foreset, and bottomset beds. *Gilbert deltas* have been described in the Bonneville Lake in the United States, but elsewhere, others have also studied the laws controlling the formation of lacustrine deposits. The infilling dynamics of *Gilbert deltas* are not limited to the great lakes; they can be observed underground, where prograding infilling directs corrosion upwards and tends to regularize the longitudinal profiles of galleries.

KEYWORDS: speleogenesis, infillings, *Gilbert delta*, prograding front, gallery longitudinal profile, paragenesis.

Introduction

Les remplissages des grottes contrôlent étroitement le développement et l'évolution des drains souterrains. Les effets induits sont visibles dans certaines sections

de conduits, mais aussi dans la régularisation des profils en long des galeries. Un des phénomènes sédimentaires dominants est l'évolution de fronts progradants d'alluvions qui progressent d'amont en aval à la manière des *Gilbert Deltas*, objets sédimentologiques bien connus des

géologues, et un peu moins des spéléologues. Après avoir rappelé quelques principes de spéléogénèse relative à la section des conduits, le rôle déterminant des remplissages, notamment dans la régularisation du profil en long des conduits souterrains, sera évoqué. Enfin, les principales séquences sédimentaires d'un *Gilbert Delta*, et leur identification sous terre, seront explicitées.

L'objectif de cette note est donc de faire le point sur la question du rôle des sédiments détritiques dans l'évolution des drains souterrains, mais aussi de proposer à partir de premières identifications réalisées sur le terrain, l'application de concepts sédimentaires bien établis (*Gilbert Deltas*) à des dépôts observés en grotte.

I. Les sections de galeries

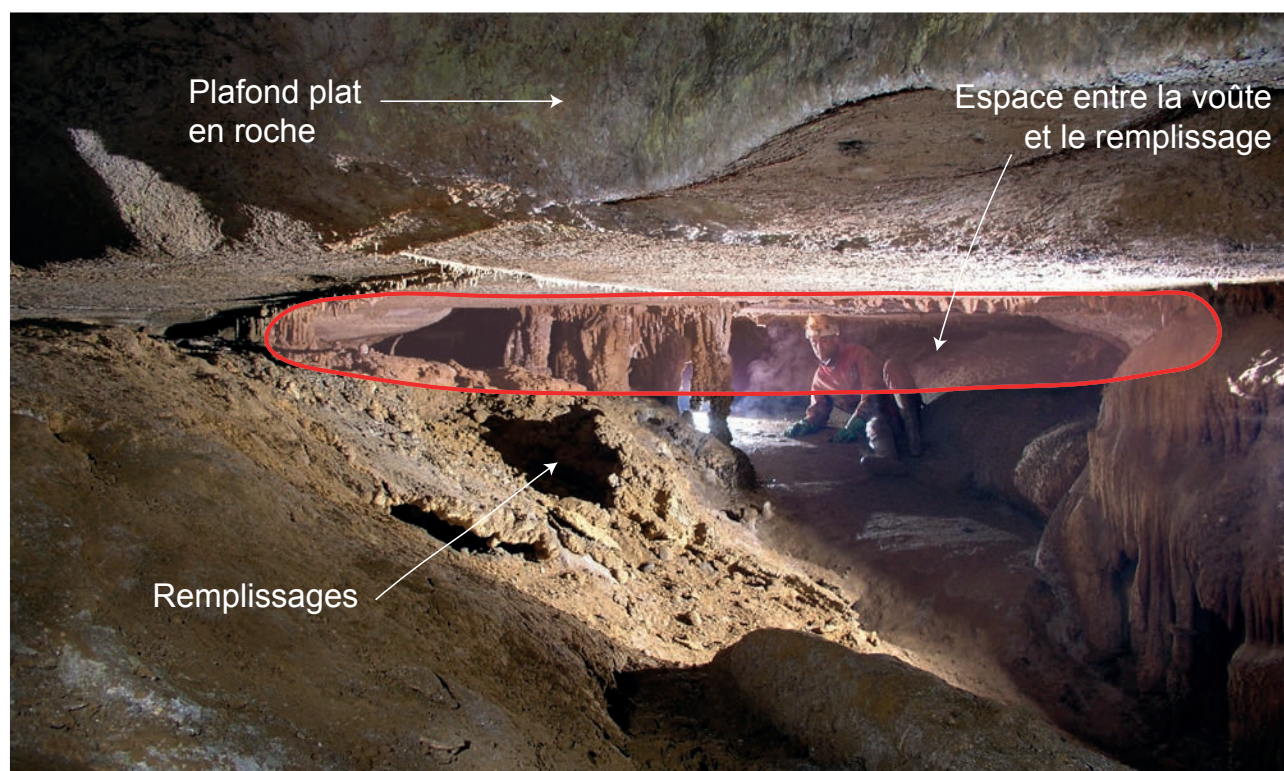
Bretz [1942], Renault [1967-68] et Pasini [2009] ont montré le rôle des remplissages des cavités dans la morphologie des galeries souterraines. Déjà en 1958, Philippe Renault avait proposé un processus de creusement original caractérisé par trois microformes : les banquettes, les chenaux et les lapiaz de voûte. Il avait ainsi distingué deux grands types de conduits : les galeries syngénétiques, pratiquement dépourvues de sédiments, et les galeries paragénétiques ; ces dernières évoluant

avec la sédimentation continue due à la lenteur des écoulements [1958]. Dans ces conditions particulières, la corrosion s'exerce uniquement à la voûte, ce qui avait amené Philippe Renault à désigner ce mécanisme par le terme de « galerie de creusement remontant » [1967-68]. L'exemple le plus explicite illustrant ce mode de creusement remontant pourrait être celui de la grotte du Défilé des Anglais à Bouziès dans le Lot [id.].

La paragenèse décrite dans les travaux de Renault, à la fin des années 1960, a lieu sous le niveau de base dans un contexte entièrement noyé [Jaillet, 2026]. Cependant, on peut trouver des sections similaires de conduits dues à des remplissages apportés par des écoulements vadoses. Dans la pratique, on pourra trouver des sections de galeries au plafond plat, parfois complètement remplies par des remplissages grossiers (gravier et galets roulés) comme dans la grotte d'Arréglade (Rébénacq, Pyrénées-Atlantiques). Cette grotte présente un espace entre la voûte et le sommet du remplissage dont la section a la forme d'une lentille aplatie de faible hauteur correspondant au passage de l'eau (figure 1). Les encoches sur les parois et le plafond plat des galeries paragénétiques (figure 2) sont des caractéristiques que l'on retrouve dans les morphologies de creusement vadose (écoulement libre) avec les encoches latérales [Farrant & Smart, 2011]. En effet, les remplissages des galeries de type vadose produisent des morphologies similaires. Cependant, elles se limitent à des encoches latérales correspondant à la partie baignée par les eaux ; le plafond ou toit de la galerie restant hors d'atteinte. Ainsi, ces encoches latérales des galeries dites vadoses complètent les formes décrites par Renault pour les galeries dites noyées ou épinoyées. Les sections de galeries à encoches latérales sont donc vues comme le résultat d'un même phénomène de corrosion en présence d'un remplissage. Cependant, on ne doit

Figure 1 : Section de galerie de la grotte d'Arréglade (Rébénacq, Pyrénées-Atlantiques). On distingue quelques témoins du remplissage qui s'élevait pratiquement jusqu'au sommet de la galerie. Ce remplissage a contraint l'eau à régulariser le plafond rocheux de la grotte.

Section of a gallery in the Arréglade cave (Rébénacq, Pyrénées-Atlantiques). Some traces of the infilling, which reached almost to the top of the gallery, are visible. This infilling forced the water to level the rocky ceiling of the cave.



pas se limiter à l'examen des sections de conduits, les profils en long des galeries permettent d'élargir la vision à l'échelle des réseaux.

II. Les profils en long de galeries

Après avoir évoqué la granulométrie décroissante des systèmes perte-résurgence, nous montrerons que la progression d'un front progradant d'alluvions se confond avec celle d'un front de corrosion qui tend à araser les voûtes des galeries.

A. Les remplissages

L'origine des remplissages souterrains et leur rôle dans la spéléogénèse ont été étudiés par Philippe Renault dans les années 1960, mais avec une acception essentiellement à l'échelle des conduits. Notons aussi les recherches menées par Andrej Kranjc [1989] dans les grottes de Slovénie. Cependant, il est parfois étonnant de constater la surprenante régularité des profils en long de certaines cavités. Même si les plafonds sont souvent percés de cheminées reliées entre elles par des passages surbaissés, le profil général du lit des galeries reste parfaitement horizontal ou à très faible pente. Citons à titre d'exemple la baume Salène (Montclus, Gard), une perte active de la Cèze qui entraîne des sédiments d'origine cévenole à l'intérieur de la grotte. Il s'agit d'un système perte-résurgence recoupant des méandres aériens de la Cèze. Dans la grotte, on observe en de nombreux endroits des formes de plafond parfaitement plates entre des cheminées. En effet, il existe au-dessus des remplissages un espace d'environ un mètre de hauteur qui permet à l'eau de s'écouler. Sur une coupe topographique, le profil longitudinal de la rivière souterraine apparaît parfaitement horizontal.

Les pertes sont souvent engorgées par des remplissages insolubles (galets cristallins, sable, argile, etc.) apportés

par les rivières aériennes. Ces remplissages recouvrent le sol des grottes sur de grandes distances. Dans la pratique, la granulométrie des remplissages tend à décroître lorsque l'on s'enfonce plus profondément dans la perte. On peut expliquer cette décroissance par la géométrie des conduits. En effet, l'espace confiné du milieu souterrain modifie les vitesses d'écoulement et, bien sûr, la granulométrie des sédiments transportés. Ainsi, le piégeage des sédiments le long du cours souterrain aura pour conséquence, d'amont en aval, une diminution de la taille des éléments, la phase terminale étant celle des particules en suspension, les plus fines (rétention des remplissages). Cette capacité du karst à retenir la charge détritique suggère qu'il existe un front de progression « instable » des remplissages, depuis les pertes vers l'intérieur du karst, à l'origine de l'évolution de la géométrie des conduits.

B. Le front de progression de la corrosion

La taille des éléments constitutifs du remplissage évolue avec celle des galeries. En effet, plus le débit est important, plus la taille des galeries est grande et plus celle des éléments grossiers du remplissage, pénétrant le karst, est importante.

Toutefois, le karst se comporterait comme un tamis ayant tendance à piéger les sédiments tout au long de leur parcours souterrain. Ainsi, des pertes peuvent-elles absorber de grandes quantités de galets sans que la résurgence en restitue un seul, ou tout au plus des éléments fins se traduisant par des eaux turbides. Dans un tel dispositif, les sédiments sont donc piégés dans le karst et la granulométrie des éléments transportés est globalement décroissante des pertes à la résurgence.

Il existerait donc un front de progression qui évolue depuis la perte vers la résurgence. Ce front de progression est matérialisé par l'avancée des sédiments qui se déposent de manière progradante. L'avancée et le piégeage des remplissages ont pour effet de contraindre et maintenir

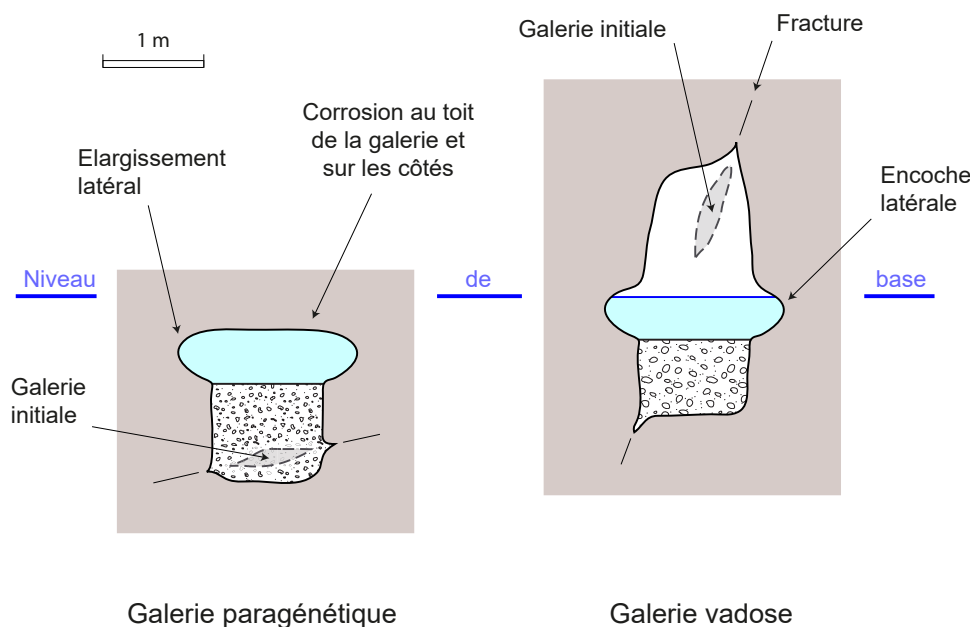


Figure 2 : Sections de galeries paragénétique et vadose présentant des encoches latérales dues à la présence d'un remplissage. Selon les cas, le conduit originel peut se situer au-dessus ou en dessous du remplissage. Dans les deux cas, les encoches se développent soit au toit du conduit (paragénétisme), soit au niveau de la rivière (écoulement libre dit vadose).

Sections of paragenetic and vadose galleries showing lateral notches due to the presence of infill. Depending on the case, the original conduit may be located above or below the infill. In both cases, the notches develop either at the roof of the conduit (paragenetic) or at the level of the river (free flow, also known as vadose).

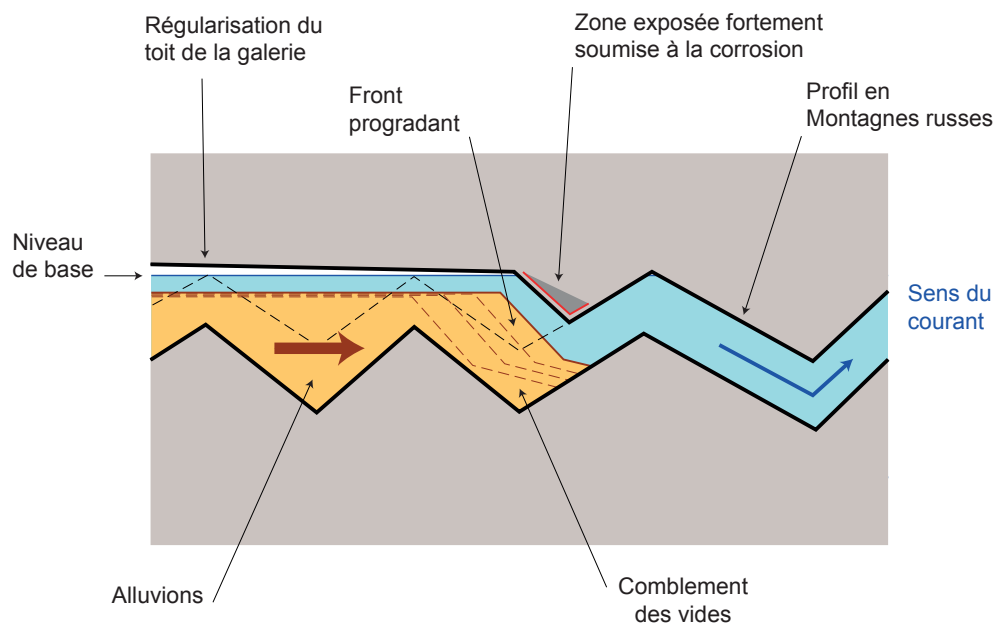


Figure 3 : La corrosion des plafonds est due au front progradant de sédiments qui maintient en contact l'eau sur la roche.
Corrosion of ceilings is due to the prograding front of sediments which keeps the water in contact with the rock.

les effets de la corrosion au toit des galeries (figure 3). Certes, ce front de progression de la corrosion n'est aujourd'hui plus visible dans les cavités ayant atteint un état d'équilibre comme dans les grottes-tunnels, mais il est encore observable dans quelques cavités comme le recouplement de méandre de la grotte de Saint-Marcel (Ardèche).

C. L'exemple du recouplement de méandre de la grotte de Saint-Marcel

À la suite de la remontée pliocène du niveau de base [Mocochain, 2007], les sédiments de l'Ardèche ont comblé massivement les vides des galeries de l'aven de Noël (Bidon, Ardèche). Ces galeries correspondent à une ancienne perte située en rive gauche de l'Ardèche.

Les remplissages apportés par cette perte se sont déposés d'abord à l'amont des recouplements souterrains et ont progressé ensuite vers l'intérieur du karst pour former un tapis de sédiments.

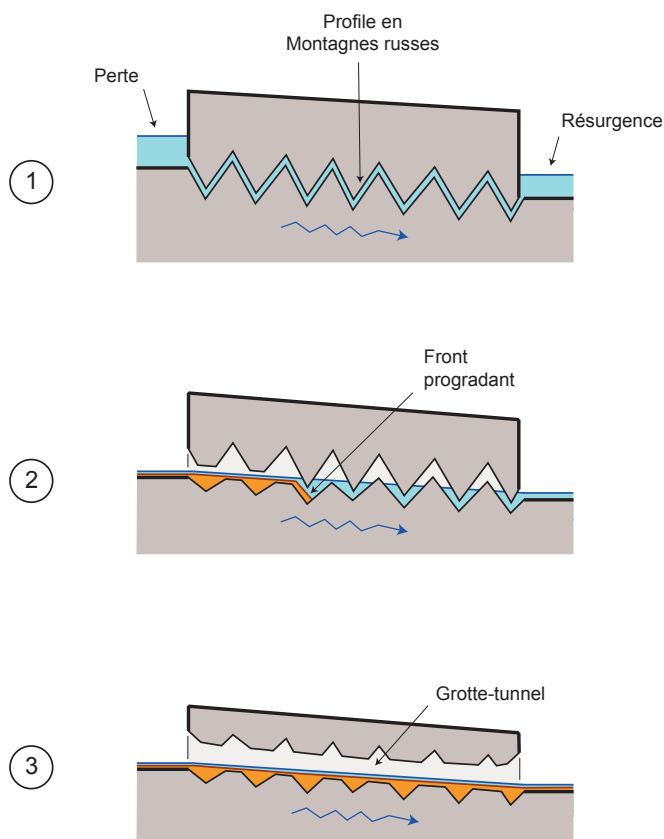


Figure 4 : Les trois phases de l'évolution d'un système perte-résurgence.

1. Dans un profil en montagnes russes, seuls les sédiments fins sont transportés par le courant. La présence de siphons maintient le creusement en régime noyé.

2. La régularisation du profil est en cours avec un front de progression progradant qui continue d'apporter des remplissages grossiers. Toutefois, ce front peut être bloqué en un point, comme dans la grotte de Postojna (Slovénie) où les galets de flysch de l'amont se désagrègent progressivement en sable, laissant l'aval sans sédimentation, lequel se termine par des siphons profonds.

3. L'uniformisation des sections de galeries est achevée pour former une grotte-tunnel. L'évolution se poursuit par la régularisation du toit des galeries (effondrement) sous l'effet de la gravité.

The three phases of evolution of a sinkhole-resurgence system. 1. In a roller-coaster profile, only fine sediments are transported by the run-off. The presence of sumps maintains erosion in a submerged regime. 2. The profile is being regularized with a prograding advance front that continues to deposit coarse sediments. However, this front can be blocked at a point, as in the Postojna cave (Slovenia) where the upstream flysch pebbles gradually disintegrate into sand, leaving the downstream section undeposited which ends in deep sumps. 3. The homogenization of the gallery sections is complete, forming a tunnel-cave. The evolution continues with the regularization of the gallery roofs (collapse) under the effect of gravity.

Ces sédiments ont comblé les points bas pour former une nappe horizontale de remplissages ménageant un espace libre par lequel s'écoule un flux d'eau. L'apport de sédiments insolubles a permis de baigner les plafonds rocheux et contraindre la corrosion au toit des conduits (siphons) pour aboutir à un profil longitudinal régularisé de la cavité [Bigot, 2011].

L'avancée progradante de ce remplissage allochtone a eu pour effet de combler les points bas des galeries et de régulariser les plafonds pour aboutir à un profil plus rectiligne. Les phases suivantes d'évolution des recoupements souterrains et captures karstiques en général correspondent à une grotte-tunnel qui représente le stade ultime de l'évolution d'une percée hydrogéologique dans un karst (figure 4). On connaît de telles cavités dans toutes les régions du monde où les karsts ont subi une longue évolution (Brésil, Chine, Laos, Vietnam, etc.).

Ainsi, un front progradant de sédiments aura tendance à niveler et rectifier le profil en long des cavités. Cependant, on observe la même dynamique de remblaiement dans les *Gilbert Deltas* qui présentent des fronts de progression progradant bien connus par leurs figures sédimentaires.

III. Les *Gilbert Deltas*, une organisation sédimentaire transférable sous terre ?

A. Les *Gilbert Deltas* de la surface

Bien que les *Gilbert Deltas* du lac Bonneville (Utah, Idaho et Nevada, États-Unis) aient permis d'expliquer la sédimentation particulière des dépôts lacustres [Gilbert, 1885], on préférera emprunter à Henri Fayol une illustration ancienne de la mise en place de figures sédimentaires dans un delta progradant (figure 5).

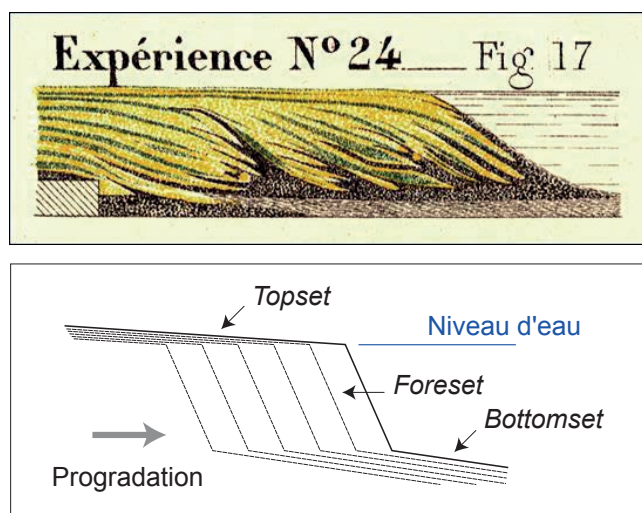


Figure 5 : En haut, « Expérience de progradation (noter les indentations de faciès, les passages latéraux, les variations de pendage et de courbure des dépôts successifs) », d'après Henri Fayol, 1886-87, planche 20, figure 17. En bas, schéma explicatif des figures sédimentaires d'un *Gilbert delta*.
At the top, «Progradation experiment (note the facies indentations, lateral transitions, variations in dip and curvature of successive deposits)», according to Henri Fayol, 1886-87, plate 20, figure 17. Below, an explanatory diagram of the sedimentary structures of a *Gilbert-type delta*.

La progradation correspond à la progression d'un dépôt par accumulation de sédiments dans un bassin (mer ou lacs). Fayol était un ingénieur des mines du bassin houiller de Commentry (Allier), ainsi qu'un géologue très perspicace [Beaudoin, 2002]. Dès 1881, sa culture d'ingénieur l'a conduit à expérimenter la formation d'un delta afin d'étudier « les lois qui président à la formation des dépôts lacustres ». Pour son expérience, Henri Fayol a utilisé une ancienne laverie et a rempli d'eau un bassin à niveau constant de 120 m de longueur, pour 3,5 m de largeur et 1,2 m de profondeur, alimenté par un cours d'eau charriant des alluvions. Grâce à son dispositif expérimental, il a pu reconnaître des figures sédimentaires originales que les anglophones nommeront un peu plus tard les *topset beds* (couches sommitales), les *foreset beds* (couches frontales) et les *bottomset beds* (couches basales).

Si les premières observations de *Gilbert Deltas* ont été faites dans des lacs, on peut aussi les rencontrer dans la mer ou encore dans des rivières aériennes ou souterraines (figure 6).

B. L'exemple de la Bocatoma de Tuemal (Pérou)

Le *Gilbert Delta*, observé dans la résurgence de la Bocatoma de Tuemal (Omia, Rodríguez de Mendoza, Amazonas) au Pérou, mérite qu'on s'intéresse à la cavité et son contexte. Cette résurgence se jette dans le Rio Leyva à l'altitude de 1 480 m. Son développement est de 576 m pour une dénivellation de seulement 5 m [Robert, 2017]. Seul le plan de la cavité a fait l'objet d'une restitution graphique ; la coupe n'a pas été publiée, car elle ne serait apparue que sous la forme d'un trait subhorizontal. C'est un réseau de galeries parcouru par des circulations d'eau dont l'origine se situe sous un vallon, en rive droite du Rio Leyva. Le bassin d'alimentation de ce vallon n'est pas karstique et s'étend sur environ 2 km. La cavité correspond à une capture horizontale du Rio Leyva, à l'origine d'un recoupement souterrain d'environ 300 m de longueur à vol d'oiseau (figure 7). Le terminus amont de la résurgence de la Bocatoma de Tuemal est obstrué, mais la présence

Figure 6 : Petit *Gilbert delta* souterrain déposé en un seul épisode de crue, goule de Foussoubie, Labastide-de-Virac, Ardèche. Cliché S. Jaillet, juillet 2009.
Small *Gilbert-type subsurface delta* deposited during a single flood event, Foussoubie Cave, Labastide-de-Virac, Ardèche.



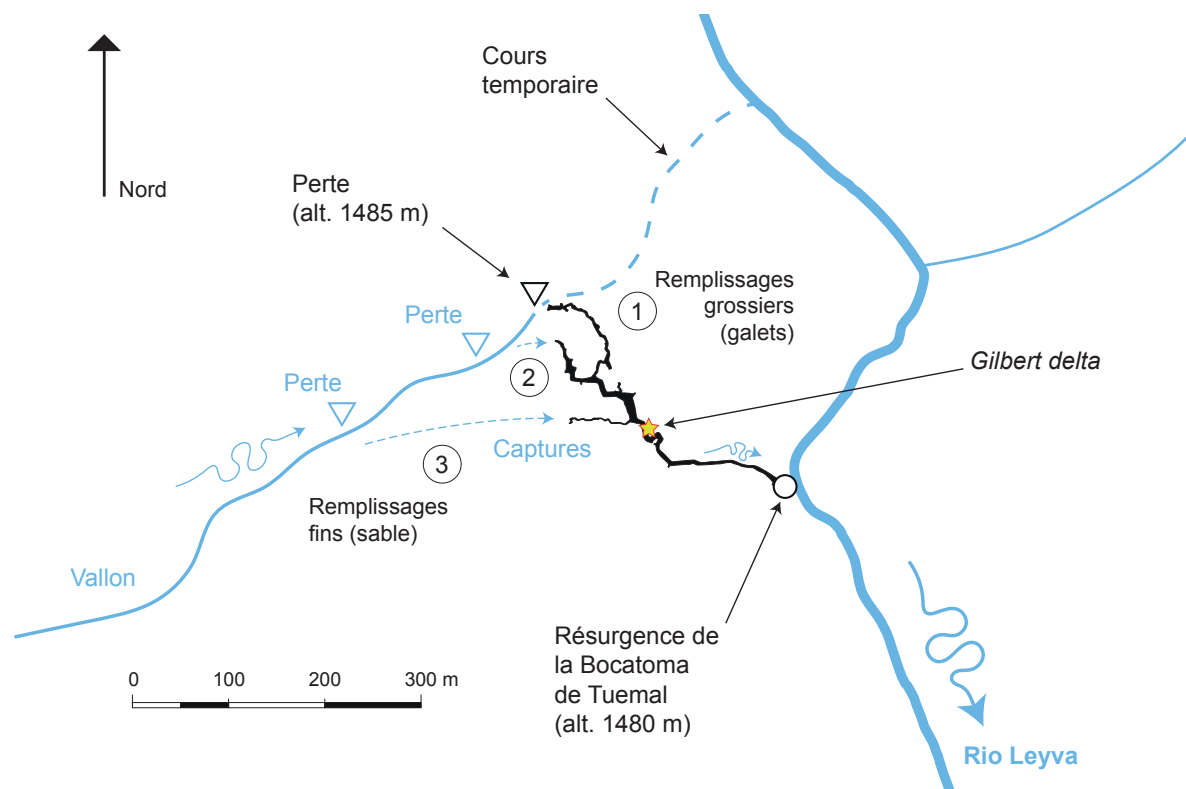


Figure 7 : La résurgence de la Bocatoma de Tuemal (Omia, Amazonas, Pérou) dans son contexte géographique (d'après un plan consultable sur <https://cuevasdelperu.org/amazonas-rodriguez-de-mendoza/resurgencia-la-bocatoma-tuemal/>).

The Bocatoma de Tuemal resurgence (Omia, Amazonas, Peru) in its geographical context (based on a map available at <https://cuevasdelperu.org/amazonas-rodriguez-de-mendoza/resurgencia-la-bocatoma-tuemal/>).

d'un courant d'air et de nombreux terriers d'animaux montre que la quasi-totalité de la cavité a été explorée.

La rivière qui parcourt la cavité est à l'origine des remplissages détritiques qui se sont déposés au fond de son lit (figure 8). À la faveur, d'une incision postérieure à la formation de ces remplissages, la rivière a mis au jour une coupe dans laquelle on observe différentes figures sédimentaires typiques des *Gilbert Deltas*. Les remplissages fins du dépôt coiffent de nombreux insolubles (galets roulés). La variation de la granulométrie des remplissages peut s'expliquer par les différents stades de développement des captures (1, 2 et 3 sur la figure 7). La maturité du système laisse supposer que seuls les sédiments les plus fins sont en transit dans la cavité confirmant un phénomène de rétention des remplissages les plus grossiers, phénomène discuté supra.

Ici l'amont de la rivière parcourant la grotte se situe à gauche, un seuil sur le cours de la rivière a suffi à créer un lac long et peu profond dans lequel s'est formé ce *Gilbert Delta* local. Ces figures sédimentaires de sable blanc sont assez spectaculaires et très similaires à celles dessinées par Fayol en 1885-86. Ainsi, il semble raisonnable de penser que lorsque les conditions sont réunies, des *Gilbert Deltas* peuvent également se former en grotte.

Conclusion

Les remplissages ont un rôle déterminant dans le creusement des grottes, car ils permettent d'orienter les effets de la corrosion vers des zones privilégiées. Ces zones exposées sont, pour les galeries des zones noyée ou épinoyée, le plafond et les parois et, pour les galeries vadoses, les parois présentant des encoches latérales. L'évolution progradante d'un remplissage souterrain permet le comblement des vides, par piégeage des alluvions, et la corrosion des zones proches du niveau d'écoulement. La présence des remplissages maintient cette corrosion au plafond des galeries et tend à niveler le profil en long des percées hydrogéologiques des rivières souterraines. Par ailleurs, lorsque les conditions le permettent, des structures sédimentaires type *Gilbert Delta* peuvent être mises en évidence. Ces dépôts singuliers témoignent de niveau d'eau calme et ceci au moins pendant toute la phase de dépôt. Étudier ces dépôts, c'est mieux comprendre les conditions hydrauliques qui président à leur mise en place, ainsi que leur influence sur l'évolution des conduits souterrains.

Remerciements

Je remercie Éric Ollivier, Liz Hidalgo, Xavier Robert, Ludovic Mocochain, qui m'ont accompagné sur le terrain, et Philippe Audra qui a bien voulu relire le texte de l'article et formuler des critiques constructives, ainsi que Philipp Häuselmann et un autre relecteur anonyme.

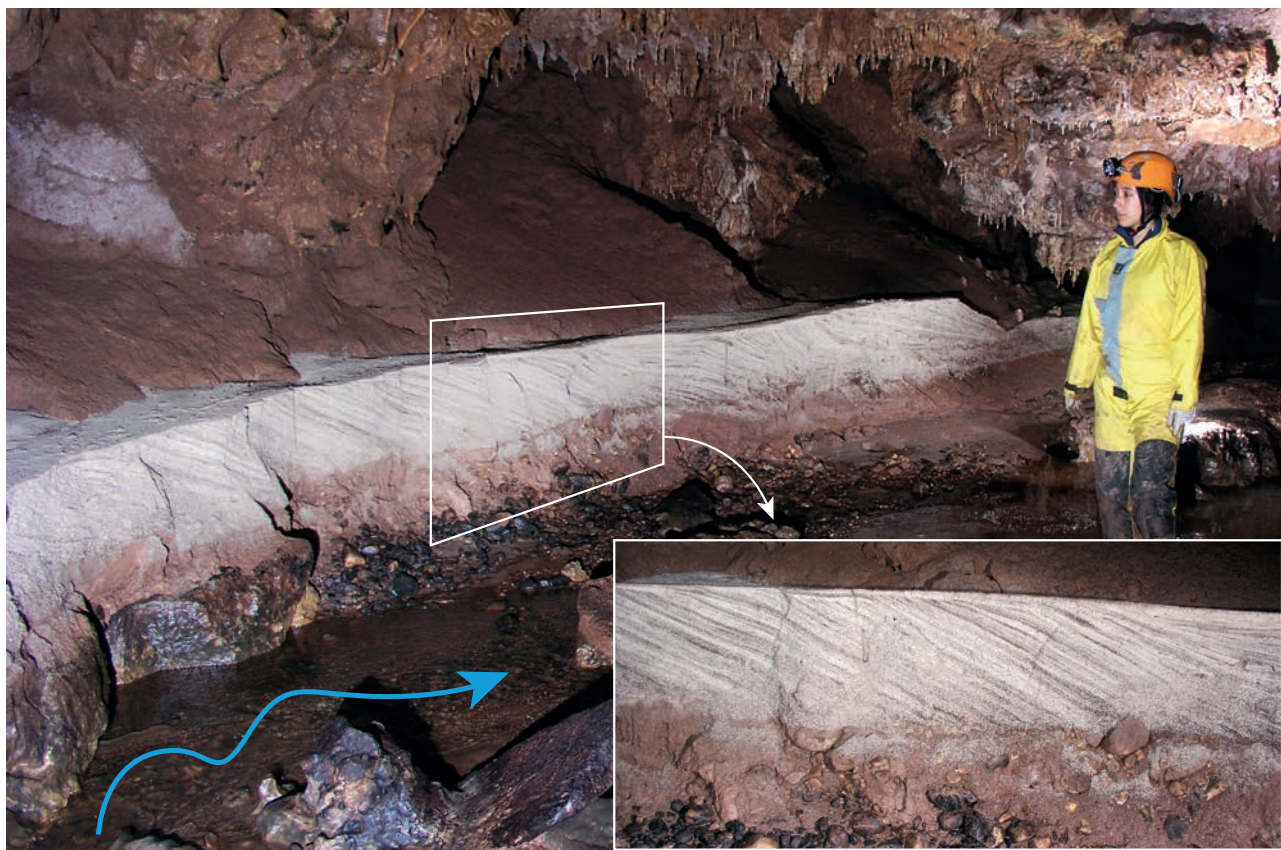


Figure 8 : Remplissages déposés dans un lac de la rivière souterraine de la Boca Toma de Tuemal (Omia, Amazonas, Pérou). La coupe de ces remplissages (à droite) est très similaire, toutes proportions gardées, à celle observée dans les Gilbert Deltas. Photo août 2016.
Fillings deposited in a lake of the underground river of Boca Toma de Tuemal (Omia, Amazonas, Peru). The cross-section of these infillings (right) is very similar, in proportion, to that observed in the Gilbert deltas. Photo: August 2016.

Bibliographie

BEAUDOIN B., 2002 - Henri Fayol, géologue perspicace et novateur ? Document internet : <http://www.annales.org/archives/x/FAYOL/>
BIGOT J.-Y., 2011 - Les captures karstiques subverticales et subhorizontales, quelques exemples. *Actes de la Vingtième Rencontre d'Octobre*, Labastide-Murat, 9 - 10 octobre 2010, S. C. Paris édit., n° 20, p. 35-44.
BRETZ J. H., 1942 - Vadose and phreatic features of limestone caverns. *Journal of Geology* 50 (6, Part II) : p. 675-811.
FARRANT A. R. & SMART P. L., 2011 - Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. *Geomorphology*, vol. 134, p. 79-93.
FAYOL H., 1881 - Sur le terrain houiller de Commentry; expériences faites pour en expliquer la formation. *Comptes Rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 30 mai 1881, 92, p. 1296-1298.
FAYOL H., 1886-87 - Étude sur le terrain houiller de Commentry. *Bulletin de la Société*

de l'Industrie Minérale, tome XV, 543 pages et atlas de 25 planches.

GILBERT G. K., 1885 - The topographic features of Lake shores. *U.S.G.S. 5th annual report*, p. 75-123.

JAILLET S., 2026 - Trajectoires karstiques. Les marques du temps dans les grottes et les structures du karst. *Mémoire Hab. Dir. Recherches*, Univ. Savoie Mont Blanc, volume 2, 464 p.

KRANJC A., 1989 - Recent fluvial cave sediments, their origin and role in speleogenesis = Recentni fluvialni jamski sedimenti, njihovo nastajanje in vloga v speleogenezi (Dela, 27), (Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Inštitut za raziskovanje Krasa, = Institutum carsologicum, 1). Ljubljana: Slovenska akademija znanosti in umetnosti, 1989. 167 str., ilustr. ISBN 86-7131-029-9.

MOCOCHAIN L., 2007 - Les manifestations géodynamiques - externes et internes - de la crise de salinité sur une plate-forme carbonatée péri-méditerranéenne : le karst

de la Basse Ardèche (Moyenne vallée du Rhône, France). Thèse de doctorat, CEREGE-Université de Provence, 192 p.

PASINI G., 2009 - A terminological matter: paragenesis, antigravitational erosion or antigravitational erosion? *International Journal of Speleology*, 38, p. 129-138.

RENAULT P., 1958 - Eléments de spéléomorphologie karstique. *Ann. Spéléo.*, 13, 87-109.

RENAULT P., 1967-1968 - Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. Thèse de doctorat ès sciences naturelles, université de Lyon. *Annales de spéléologie*, tome 22, p. 5-17 et p. 209-267; tome 23, p. 259-307 et p. 529-559; tome 24, p. 317-337.

ROBERT X., 2017 - Résurgence de la Bocatoma de Tuemal. *Bulletin ECA-GBPE-GSBM-GSVulcain*, Nord Pérou 2016, p. 77-78.